

DISEÑO PRELIMINAR DE UN PUENTE CON TABLERO MIXTO

Ing. Pieroni, Horacio; Ing. Saguier Padilla, Ana; Ing. Gutiérrez, Valentina
Metra Ingenieros
h.pieroni@metra.com.ar / a.saguier@metra.com.ar / v.gutierrez@metra.com.ar

RESUMEN

El nuevo puente sobre el Río Negro forma parte del proyecto de conexión de la Ruta 43 y Camino a La Balsa, Picada de Oribe, República Oriental del Uruguay

En este trabajo se presenta el diseño llevado a cabo para el proyecto licitatorio del puente, de 375 m de longitud. La superestructura consiste en una solución mixta (hormigón-acero); el tablero está conformado por vigas continuas de acero y una losa superior de hormigón armado, de 125 m de longitud entre juntas. Las pilas se diseñan como pórticos con pilote-columnas de hasta 44 m de longitud total, con la particularidad de que deben introducirse hasta 20 m en el terreno, en vistas de la fuerte erosión prevista en el cauce.

Para la construcción del tablero, se propuso lanzarlo desde el estribo del lado de Durazno. Se estudió detalladamente el proceso constructivo y sus efectos en la estructura, ya que el lanzamiento del tablero resultó crítico para el diseño de varios de los elementos estructurales del puente.

ABSTRACT

The project features a 375m long bridge, over the Rio Negro (Uruguay), connecting Route 43 and the Road to "La Balsa", in a place known as "Picada de Oribe".

In this paper, the design of the bidding project of the 375m long bridge is presented. The deck is composite, consisting of a concrete slab on two steel plate girders. The piers are designed as reinforced concrete frames, with piles up to 44 m long, which must be driven up to 20 m into the ground, due to the expected erosion.

As for the construction of the deck, the proposal was to build the 125m long segment between joints, including the steel girders and the concrete slab, and then launch it. The launching process and its effects on the structure were thoroughly analysed, as they turned out critical for several elements of the bridge.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PUENTE

Sobre el Río Negro se proyecta un puente nuevo, como parte de la traza que vincula la Ruta 43 y Camino a La Balsa, Picada de Oribe, República Oriental del Uruguay.



Figura 1 Imagen satelital de la ubicación del puente

A partir de los requisitos establecidos en el Pliego de licitación y los condicionantes viales, hidráulicos y geotécnicos del lugar, se diseña un puente de 375 m de longitud total, de planta recta, con juntas de dilatación en los estribos y en dos pórticos intermedios, P4 y P8, conformando tres tramos de 125 m. El tablero es continuo entre juntas, con luces de 27.5m-35m-35m-27.5m, alcanzando así los 125 m.

La superestructura descansa sobre apoyos de policloropreno zunchado ubicados en los estribos y las pilas de altura variable.

En la Figura 2 se puede observar un perfil longitudinal del puente sobre el Río Negro.

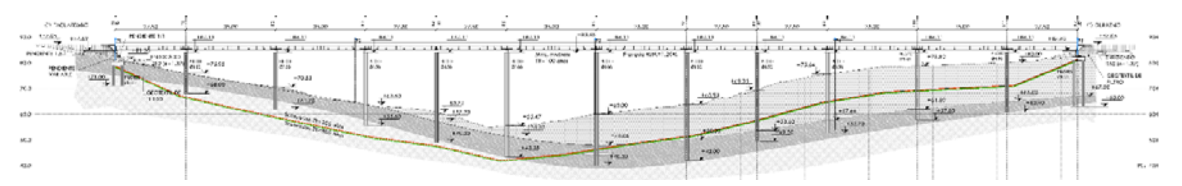


Figura 2 Perfil Longitudinal de Puente sobre el Río Negro

TABLERO

La sección transversal del puente consta de dos carriles de 3.60 m de ancho cada uno, dos banquinas laterales de 1.00 m, con barreras New Jersey de 0.38 m y ductos de 0.92 m a cada lado, alcanzando un ancho total de 11.80 m.

El tablero de estructura mixta está compuesto por dos vigas metálicas de sección “doble T” de alma llena, de 1.66 m de altura, con una losa superior de hormigón armado de espesor variable, entre 0.30 m y 0.15 m. Las vigas principales, separadas 6.00 m entre ejes, se vinculan entre sí por medio de vigas transversales de 0.50m de altura.

La viga metálica, ejecutada en acero Corten, está conformada por una chapa de alma de espesor variable, con una platabanda superior e inferior de 520 mm de ancho y espesor también variable. Asimismo, se dispone una serie de rigidizadores transversales soldados al alma y a las alas y, en la zona de los apoyos, un rigidizador longitudinal a cada lado del alma. La losa de hormigón superior se vincula a las vigas metálicas por medio de numerosos conectores de corte.

En la Figura 3 se puede observar la sección transversal del tablero.

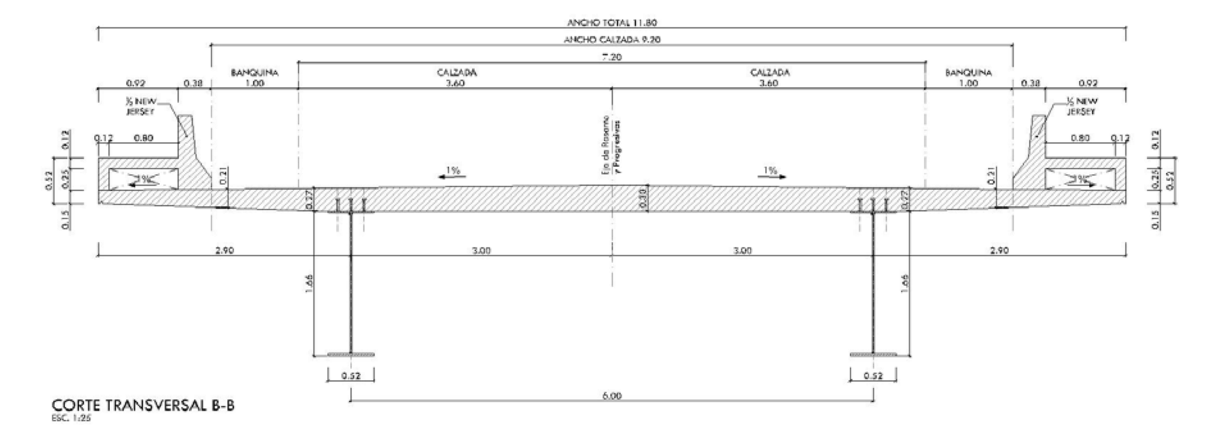


Figura 3 Sección transversal típica tablero

PILAS

El puente presenta once pilas, P1 a P11. Las erosiones previstas son, en la mayoría de las pilas, de magnitud importante, resultando longitudes libres de columnas de hasta 37 m. En la Tabla 1 se muestran las erosiones esperadas para cada pila, así como la longitud libre desde el fondo de viga hasta el nivel de terreno erosionado.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Socavación (m)	0	0	0,5	3,5	4	12	12,7	11,7	10,7	9,5	9
L hasta socavación (m)	9,3	15,5	21,4	27,8	33,8	37	33,8	27,8	20,2	15,7	14

Tabla 1. Erosiones esperadas en las pilas

De acuerdo con lo establecido en el pliego de licitación, los pilotes deben tener una longitud mínima de 8 m, medida desde el estrato erosionado.

A partir de los condicionantes geotécnicos, hidráulicos y estructurales se diseñan dos tipos de pilas.

Las pilas centrales (P5, P6, P7) consisten en pórticos de hormigón armado, compuestos por dos pilotes columna de sección circular, de 1.80 m de diámetro, vinculados transversalmente por medio de una viga dintel, sobre la que apoyan las vigas principales del tablero. Los pilotes se empotran en el estrato de arenisca con una longitud de penetración de 8.00 m.

Las pilas restantes (P1 a P3 y P8 a P11) presentan la misma configuración, pero con pilotes columna de 1.50 m de diámetro, los cuales se empotran en el estrato de arenisca con una longitud de penetración de entre 4.00 y 8.00 m, dependiendo de la ubicación de la pila dentro del cauce.

En la Figura 4 se muestra la geometría de los pórticos transversales de las pilas.

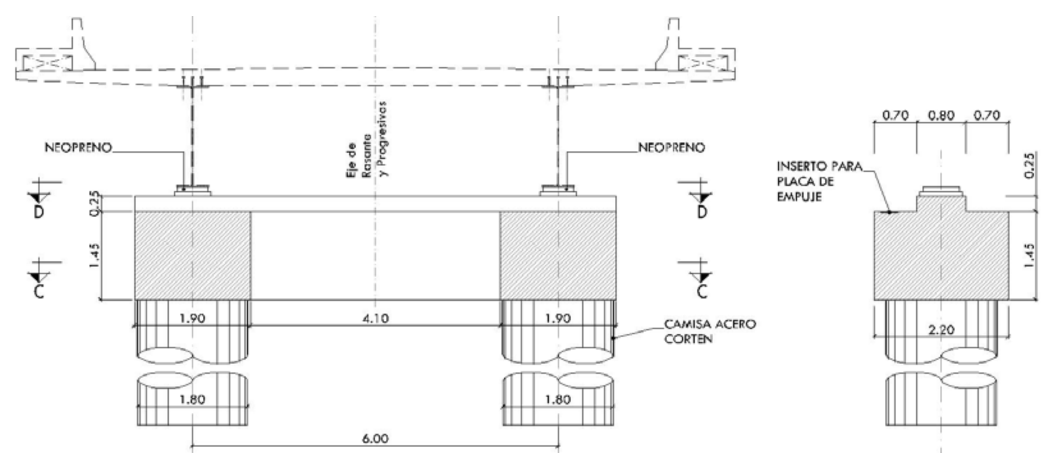


Figura 4 Pórtico de Pila (Diámetro 1.80 m) – Corte y Vista

ESTRIBOS

El Estribo 1 (E1), del lado hacia Tacuarembó, consiste en un estribo abierto, compuesto por dos contrafuertes de sección rectangular, de 0.50 m de ancho y canto variable, vinculados transversalmente por una viga dintel, sobre la que descansan las vigas principales del tablero. Cada contrafuerte se funda sobre dos pilotes de 1.00 m de diámetro, vinculados entre sí mediante un cabezal. A su vez, los dos cabezales se vinculan transversalmente con una viga riostra. Para contener el terraplén de acceso al puente, el estribo se completa con muros de ala laterales y un muro frontal, que da apoyo a la losa de aproximación de 5.50m de largo.

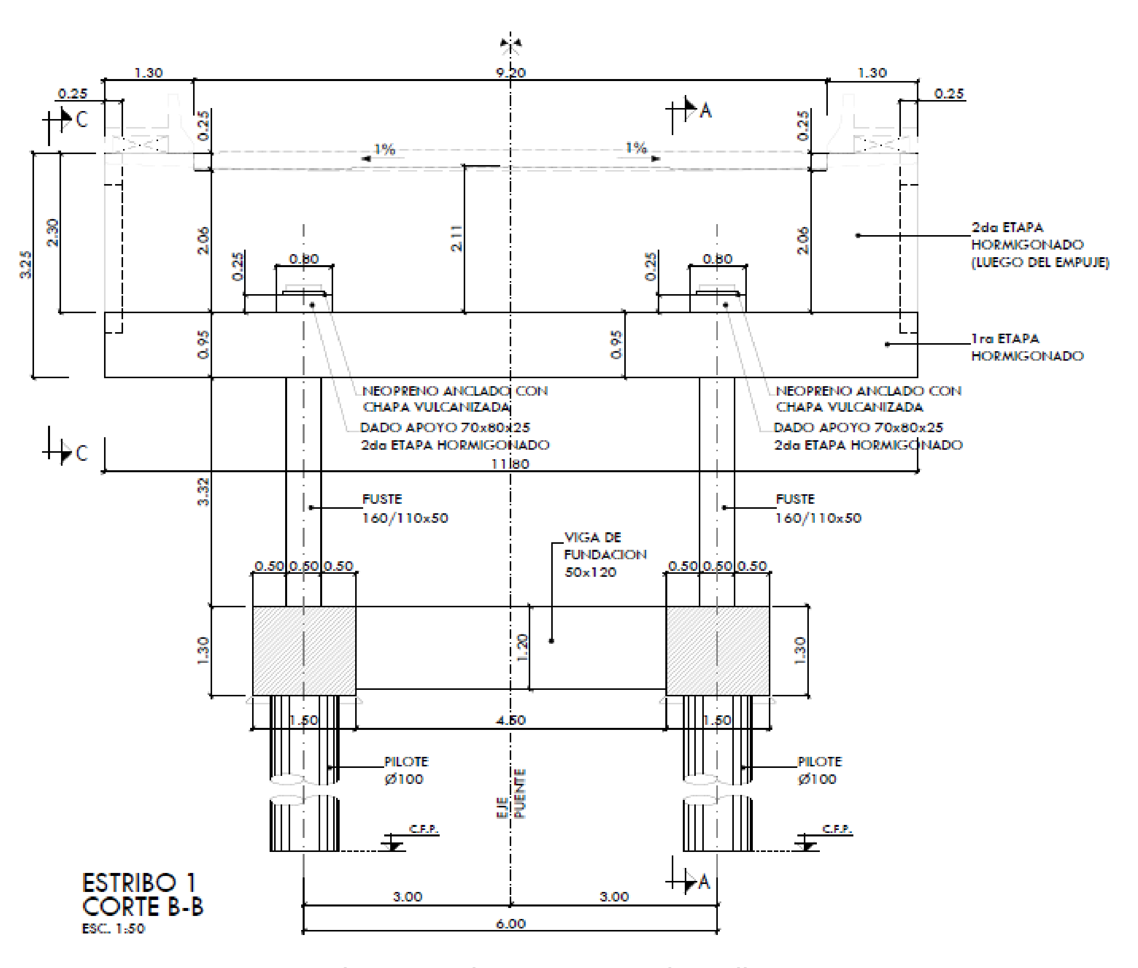


Figura 5. Vista transversal Estribo E1

El Estribo 2 (E2), del lado hacia Durazno, consiste en un estribo cerrado, compuesto por cuatro contrafuertes de sección rectangular de canto variable entre 1.10 m a 1.30 m, vinculados transversalmente por una viga dintel, sobre la que descansan las vigas principales del tablero. Entre los contrafuertes se proyecta un muro de 0.25 m de espesor a modo de cerramiento frontal.



La fundación se lleva a cabo con un único cabezal de ocho pilotes de 1.00 m de diámetro. Para contener el terraplén de acceso al puente, el estribo se completa con muros de ala laterales y un muro frontal, que da apoyo a la losa de aproximación de 5.50m de largo.

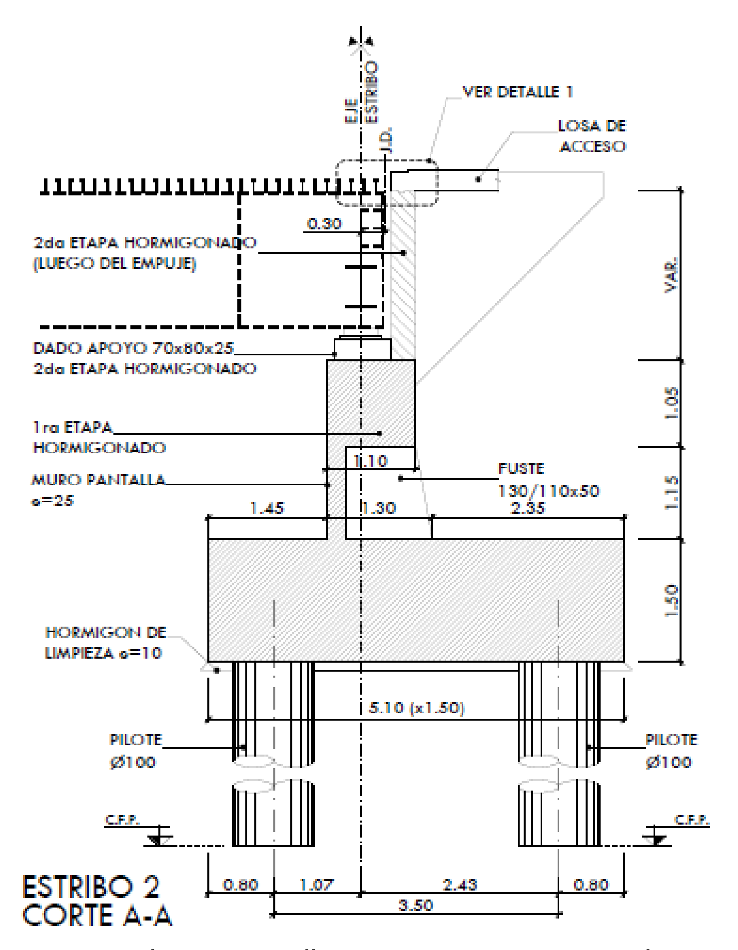


Figura 6 Estribo E2 – Corte transversal



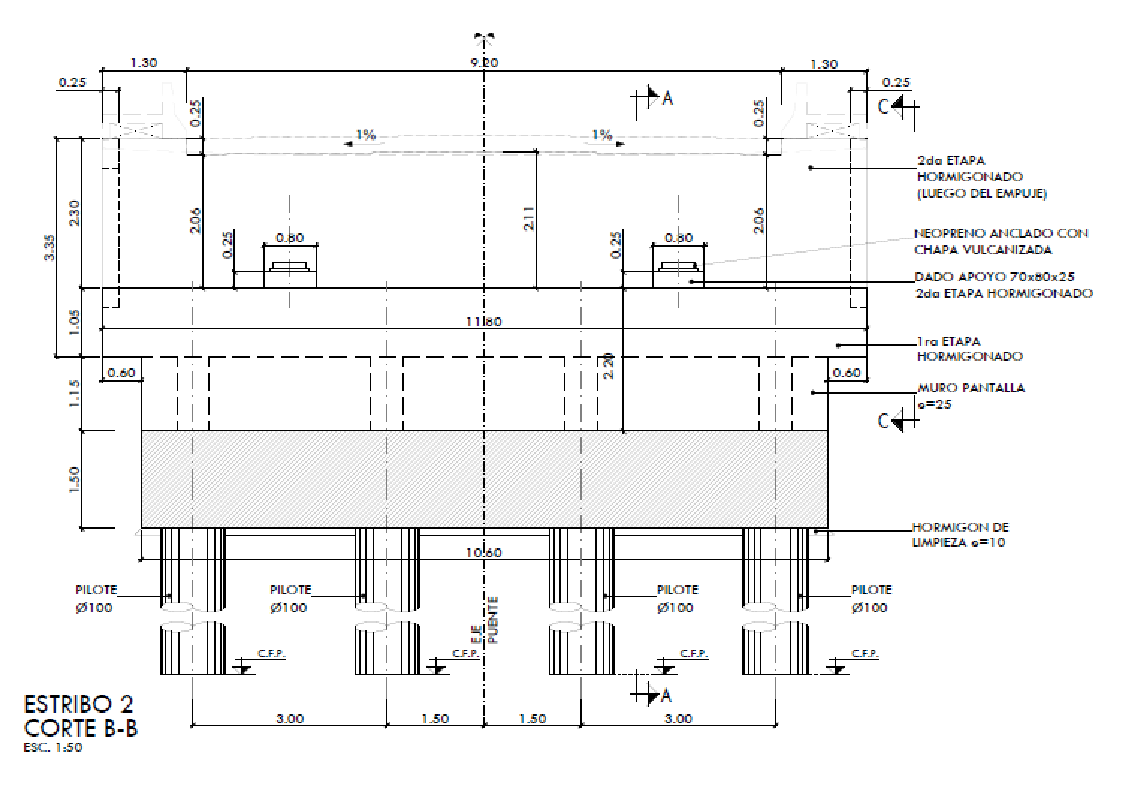


Figura 7 Estribo E2 – Vista

En ambos estribos se ejecutará una protección contra la erosión mediante un revestimiento con enrocado de los taludes del terraplén.

REGLAMENTOS Y NORMATIVAS

Se ha utilizado la siguiente Normativa de referencia:

- Pliego de Condiciones Generales para la Construcción de Obras Públicas, de fecha 1989 (PV).
- Especificaciones Técnicas Complementarias y/o Modificativas del Pliego de Condiciones para la Construcción de Puentes y Carreteras de la Dirección Nacional de Vialidad, de fecha agosto 2003 (ETCM).
- EHE-08 Instrucción de hormigón estructural.
- EAE Instrucción de acero estructural.
- Viento: UNIT 50-84
- Recomendaciones para el proyecto de puentes mixtos para carreteras (RPX-95)
- Manual de Aplicación de Recomendaciones para el proyecto de puentes mixtos para carreteras RPX-95

Cuando algo no resulte definido por los documentos anteriormente mencionados, o a modo de elementos de consulta, se consideraron los siguientes ítems:

- IAP-11 Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera.
- EN 1992. Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón.
- EN 1994. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero.
- EN 1994. Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y de hormigón.

ACCIONES

<u>Cargas Permanentes</u>

Peso Propio

Se considera un peso específico del hormigón armado de 25 kN/m³, y de 78.5 kN/m³ para la estructura metálica.

En el peso del tablero se considerará un incremento del 10% de peso para tener en cuenta los elementos de rigidización y conexión.

Sobrepiso de Circulación

Se considera como sobrepiso una capa mínima de 4 cm de espesor con un peso específico de 23 kN/m³.

Barandas

Defensa New Jersey 6.00 kN/ml

<u>Sobrecargas de tránsito</u>

Para la faja principal se considerará un vehículo de 450 kN. El vehículo ocupa una superficie de 3,0 m de ancho y 6,0 m de largo, con 75 kN de carga de rueda y una superficie de apoyo por rueda de 0,50 m por 0,20 m. Consta de tres ejes separados cada uno por 1,50 m y con la misma separación al borde de la superficie ocupada, como se indica en la figura. En el resto de esa faja de circulación se considera una carga uniforme de 5 kN/m².

Para la faja secundaria de 3,0 metros de ancho adosada a la principal se considerará un camión de las mismas características geométricas, pero de 300 kN de carga total, con 50 kN de carga de rueda y una superficie de apoyo por rueda de 0,40 m por 0,20 m.

En el resto de la calzada se supone una carga uniforme de 3 kN/m².

Tordas las cargas móviles serán colocadas en la posición más desfavorable para el cálculo de cada elemento, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal, pero manteniendo los vehículos de las fajas principal y secundaria en la misma ubicación longitudinal, no considerándose las cargas del eje, rueda o superficie que producen reducción de los esfuerzos solicitantes.

En el cálculo del tablero la rueda se podrá suponer adosada a la barrera New Jersey y los vehículos aproximarse transversalmente con una distancia entre ejes de ruedas mayor o igual a 0,50 metros, adecuando el ancho de las fajas en consecuencia.

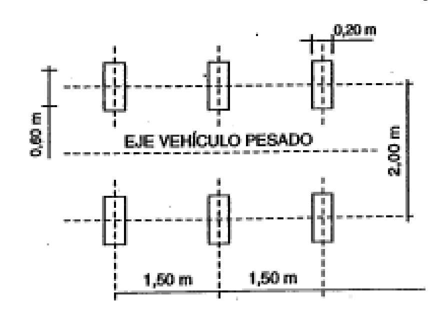


Figura 8. Esquemas de carga móvil

Coeficiente de Impacto

A los efectos del cálculo de las solicitaciones en todos los elementos de la superestructura y en las vigas transversales y pilares de pórticos, las cargas móviles a considerar sobre la calzada serán incrementadas multiplicándolas por un coeficiente de impacto.

$$I = 1 + \frac{15}{L + 37.5} \leq 1.30$$

Siendo L, la longitud expresada en metros, de la porción del tramo que es cargado para producir la máxima solicitación en el punto considerado.

Simplificadamente, para el cálculo de la viga se considera un coeficiente de impacto de 1.25 para todos los tramos.

En el cálculo de la losa del tablero se tomará el coeficiente de impacto igual a 1.30.

<u>Cargas horizontales</u>

Las cargas horizontales se aplican sobre la longitud total del puente.

Contracción y fluencia

Para el cálculo del tablero se considerará una deformación impuesta de -0.35 mm/m.

Temperatura

Tanto para el cálculo de las deformaciones como para el de las solicitaciones

producidas en estructuras estáticamente indeterminadas, se considerarán las siguientes variaciones de temperatura.

En el caso de las estructuras metálicas se considerará una variación térmica Δ = ± 35ºC con respecto a la temperatura de construcción y en el caso de las estructuras de hormigón se considerará una variación térmica Δ = ± 15ºC con respecto a la temperatura de construcción.

Para el diseño del tablero mixto, se considerará una diferencia de temperatura entre el acero y el hormigón, la cual de acuerdo a los valores anteriores, resulta de Δ =±20ºC aplicado en la estructura metálica.

Para el diseño de la infraestructura, se considera que la sección mixta sufre un Δ =±15ºC, y que el acero sufre un Δ =±20ºC adicional.

Frenado

La carga debido a frenado longitudinal se adopta en 260 kN, por tratarse de una estructura con ancho de calzada de 9.20 m, aplicada en un solo tramo del puente.

Viento Transversal

Se considerarán dos situaciones de carga: puente cargado y puente descargado.

Puente vacío:	2.50 kN/m²
Altura superficie expuesta:	2.76 m
Fuerza por metro de puente:	6.90 kN/ml

Puente cargado:	1.50 kN/m²
Altura superficie expuesta:	4.00 m
Fuerza por metro de puente:	6.00 kN/ml

Sismo

El puente se encuentra localizado en una zona de escasa peligrosidad sísmica, por lo que no se hace necesaria la consideración de este efecto.

Fuerza Centrífuga

El puente se encuentra en recta por lo que se desprecia este efecto.

Empuje de Tierra

Para el estado de servicio de la estructura, sobre los estribos se considera el

empuje lateral del suelo, con los siguientes parámetros:

Υ_{suelo}= 19 kN/m³

K_a=0.33

Para la fase de lanzamiento del tablero, sobre el estribo derecho se considera, de modo conservador, el empuje lateral del suelo en estado en reposo, con los siguientes parámetros:

Υ_{suelo}= 19 kN/m³

K_0=1.00

SC trasdós

Se considera el empuje sobre estribos debido a la sobrecarga en la zona de losa de acceso.

Sc vertical= 10 kN/m²

Presión de la corriente de agua

La corriente de agua efectúa una presión *p* sobre los pilares de los pórticos:

$$p=k\ v^2$$

Considerando una velocidad de 2 m/s (velocidad media del estudio hidráulico) y un coeficiente de forma k=1, correspondiente a un fuste circular, se obtiene una presión de 140 kg/m². Además, se considera un coeficiente de ocultamiento del 40% para el segundo pilar. Con ello, se obtienen las cargas de la Tabla 2.

Diámetro	Columna 1	Columna 2
m	q (kN/m)	q (kN/m)
1,8	2,52	1,008
1,5	2,1	0,84

Tabla 2. Cargas debidas a la presión de la corriente de agua

Lanzamiento del Tablero

Durante el lanzamiento del tablero se utilizan apoyos deslizantes, con un coeficiente de rozamiento de un 10%.

MATERIALES

Hormigón

- Hormigón tablero, pilas, estribos H-30 (300 kg/cm² rotura cilíndrica)

Módulo de elasticidad:

- Tablero: a fin de tener en cuenta la fisuración, se tiene en cuenta los siguientes módulos de elasticidad:
  - 4300 MPa sobre los apoyos continuos, en una longitud de 4.20 m a cada lado.
  - 11432 MPa en el resto del tablero.
- Pilas y Estribos
  - 28580 MPa (H-30)

Coeficiente de dilatación térmica

α = 1.0·10-5 [°C]-1

Acero Pasivo

- Armadura pasiva B500 (5000 kg/cm² de fluencia)

Acero Estructural

- Estructura metálica de tablero y dinteles de pórticos: Acero al carbono ASTM A588 Gr.B ((Symin=345 MPa, Sumin=450 MPa).
- Camisa de pilotes (considerada únicamente en etapa constructiva): Acero AE235 (Symin=235 MPa).

DURABILIDAD

Para los elementos de hormigón estructural la clase de exposición se determina según lo indicado en la EHE-08.

Clasificación Ambiente general: IIa

Estrategias para la durabilidad del hormigón

- Reacción álcali-agregado: se deben utilizar áridos no reactivos.
-

Estrategias para la durabilidad del acero

- Composición del hormigón

Contenido mínimo de cemento	300 kg/m³
Máxima relación a/c	0.50

- Recubrimientos

En general	25 mm

Columnas	35 mm
Pilotes	50 mm

- Fisuración

Abertura máxima de fisuras (cuasiperm.) Horm. Armado	0.30 mm

Estrategias para la durabilidad del acero estructural

Para los elementos metálicos la clase de exposición se determina según lo indicado en la Instrucción de Acero Estructural (EAE).

La corrosión atmosférica de los metales depende las características climáticas y ambientales del lugar de exposición, tales como la humedad del aire, la temperatura, el viento predominante, la composición química de la atmósfera, etc.

Para proteger adecuadamente la estructura metálica se ejecutará en Acero Corten, cuya composición química hace que su oxidación tenga unas características especiales que protegen la pieza frente a la corrosión atmosférica.

PROCESO CONSTRUCTIVO

En primer lugar, se ejecutarán los estribos y pilas del puente. Para poder efectuar el lanzamiento del tablero, el terraplén de acceso de ambos lados se ejecutará dejando una altura libre de unos 2.30 m. En cuanto a los estribos, se ejecutarán las fundaciones, pilares, muro de cerramiento frontal (en el caso del estribo E2) y la viga dintel, dejando los muros del espaldón, aletas laterales y altares de apoyo para una segunda etapa.

Para la ejecución de los pilotes de las pilas se utilizarán camisas de acero Corten.

El montaje del tablero mixto se hará por medio del lanzamiento desde el estribo E2. El tablero se ensamblará sobre el terraplén de acceso del estribo E2; se montará la estructura metálica del tramo de 125 m y se ejecutará la losa superior de hormigón armado en la longitud total del tramo, con excepción de los primeros 18.5 m, con el fin de aligerar el voladizo durante el lanzamiento. Las defensas, la tapa y las paredes laterales de los ductos se harán en una segunda etapa, tras el lanzamiento.

Para optimizar la maniobra de lanzamiento, se prevé utilizar además una nariz de lanzamiento de 5.00 m de largo y altura variable con contraflecha en el cordón inferior de la viga, de modo que no sea necesario recuperar la flecha elástica con gatos hidráulicos al alcanzar el apoyo en la pila.

Se procede a efectuar el lanzamiento del tablero, desde el estribo E2, para lo cual se disponen apoyos deslizantes en estribos y pilas.

Se ubicarán dos dispositivos hidráulicos de tiro en posición horizontal en la parte frontal del estribo E2. El lanzamiento del tablero se realizará deslizando el ala inferior de la viga principal sobre un apoyo provisional de apoyos deslizantes de teflón

ubicados en las pilas. A fin de permitir el deslizamiento sobre dichos apoyos, la parte inferior de las vigas principales y la nariz deben estar planas, horizontales y libres de cualquier interferencia (restos de soldadura, rebabas, etc.).

Los apoyos deslizantes se dispondrán sobre las pilas con una excentricidad de aproximadamente 0.85 m, la cual resulta sumamente beneficiosa, ya que genera un momento estabilizante en la pila durante el proceso de lanzamiento.

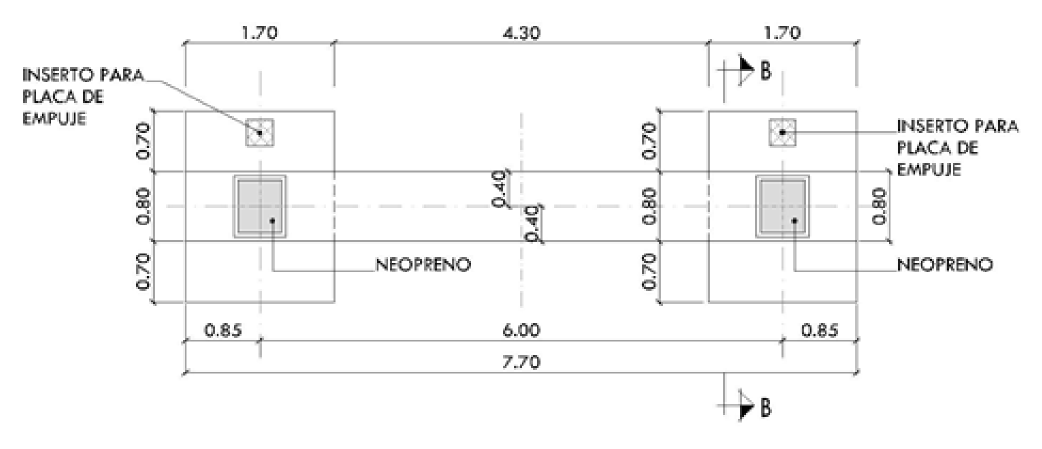


Figura 9. Dintel de pilas – Planta

Una vez lanzado el primer tramo de 125 m, se lanzará el segundo, para lo cual se vincularán ambos tramos entre sí por medio de una unión abulonada provisoria. Para el tercer tramo se procederá de igual modo.

A continuación, se presenta una serie de esquemas resumiendo las etapas del lanzamiento del tablero.

Etapa 1: Montaje de los equipos en la traza (unidades de tiro en los estribos y los apoyos en las pilas). Anclaje del sistema de tiro a la estructura. Inicio del lanzamiento del primer tramo, incluyendo la nariz metálica.



Figura 10. Lanzamiento del Tablero – Etapa 1

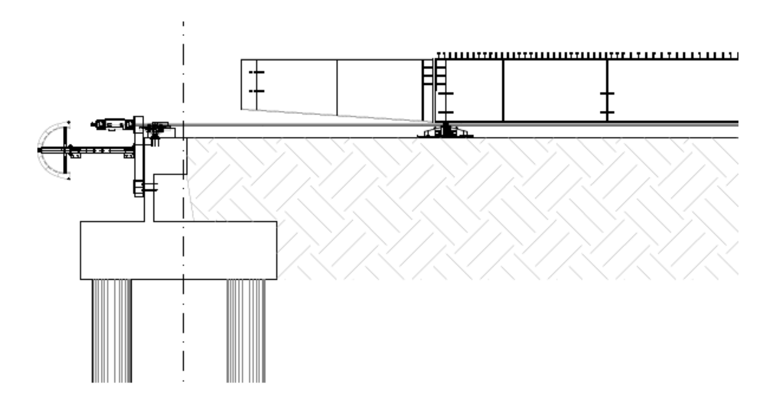


Figura 11. Vista esquemática del Estribo E2 con los equipos de tiro.

Etapa 2: Reacomodamiento de los equipos en la traza. Se continúa con el lanzamiento hasta completar el primer tramo.

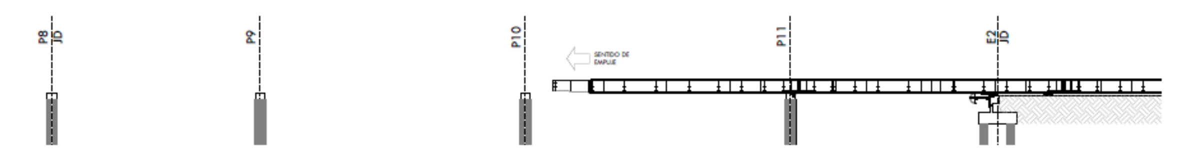


Figura 12. Lanzamiento del Tablero – Etapa 2

Etapa 3: Unión del próximo tramo a lanzar. Reacomodamiento de equipos. Se continúa con el lanzamiento hasta completar el segundo tramo. Se repiten las etapas 1 a 3 hasta completar la totalidad de los tramos del tablero.

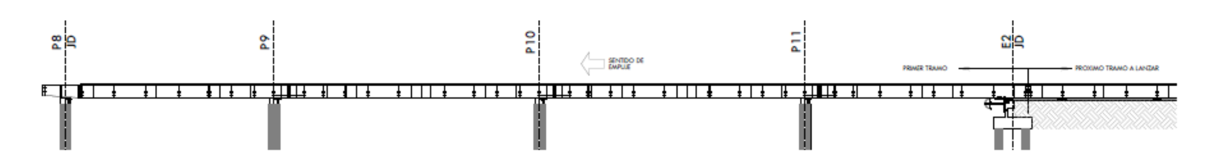


Figura 13. Lanzamiento del Tablero – Etapa 3

Luego de finalizar el lanzamiento del tablero, se desmontará la nariz. Seguidamente se ejecutarán los altares de apoyo, muros laterales y frontal de los estribos. Se desharán las uniones provisorias de los tramos de 125 m, y se procederá a remover los apoyos deslizantes y a disponer los definitivos de neopreno mediante gateo en cada pila y estribo.

Se hormigonará la losa de hormigón restante, defensas New Jersey, y paredes laterales y tapa de ductos del tablero. Luego se colocarán las juntas de dilatación y se ejecutará la capa de rodamiento.

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Para el diseño de la estructura del puente se realizan distintos modelos de cálculo.

Diseño del tablero

El análisis del tablero se lleva a cabo con un modelo tridimensional de elementos finitos, combinando elementos de barra tipo BEAMS para las vigas y elementos tipo QUAD para las losas.

La losa de tablero se modela con su geometría real, captando así todas las situaciones que se presentan debido a su particularidad geométrica y en consecuencia de cargas.

Se modela un supertramo de 125 m en su estado definitivo, con los cuatro tramos de 27.5m-35m-35m-27.5m de longitud, y se consideran todas las cargas de diseño (permanentes, sobrecargas de tránsito, temperatura y retracción del hormigón).

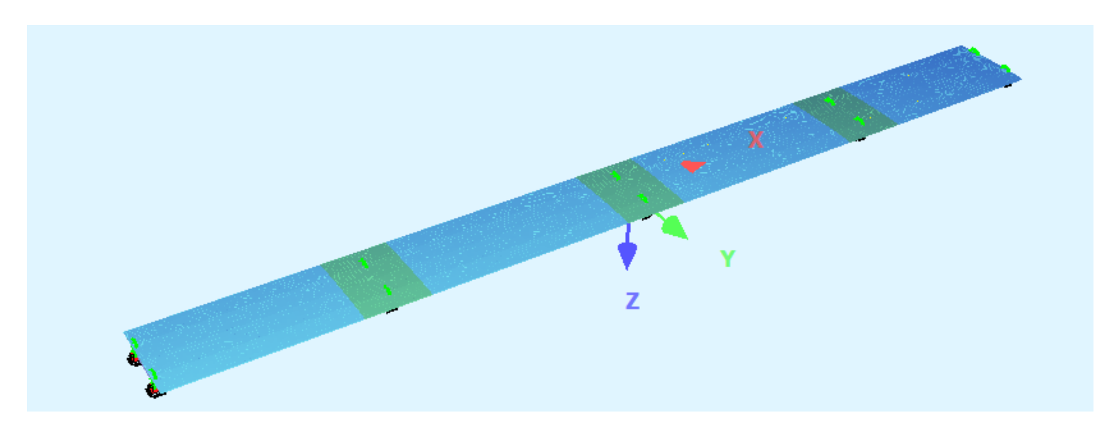


Figura 14. Vista superior de la modelación empleada para el tablero

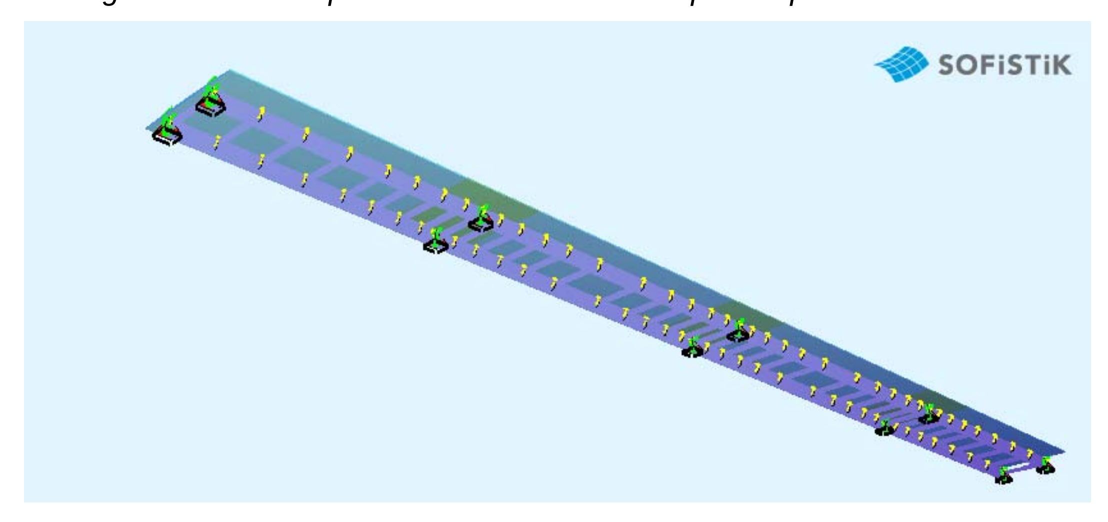


Figura 15. Vista inferior de la modelación empleada para el tablero

Por otro lado, se realiza un modelo del tablero para estudiar su proceso constructivo. En este caso, se incluye también la nariz de lanzamiento y se consideran únicamente las cargas de peso propio del tablero metálico y la losa de hormigón (sin ejecutar los primeros 18.5 m). con este modelo, se analiza la estructura a medida que el tablero es lanzado. Para ello, se modelan varios apoyos, ubicados cada 5 m aproximadamente, a fin de simular la ubicación de las pilas en distintas etapas del lanzamiento.

De ambos modelos se obtienen las solicitaciones pésimas de flexión y corte para verificar la estructura del tablero, así como las reacciones pésimas, a ser tenidas en cuenta luego para el cálculo de la infraestructura.

Diseño de la infraestructura

Para el análisis de la infraestructura se lleva a cabo un modelo tridimensional de todo el puente, a partir del cual se estudia el reparto horizontal de cargas, y se diseñan las pilas. Se utilizan elementos lineales para modelar los fustes, dinteles y pilotes de pórticos y estribos. Los pilotes se modelan considerando el balasto transversal correspondiente a cada estrato establecido en el estudio de suelos, y considerando la erosión máxima prevista por el estudio hidráulico. Por su parte, el tablero se modela con una barra de sección ficticia, simulando su gran rigidez axil.

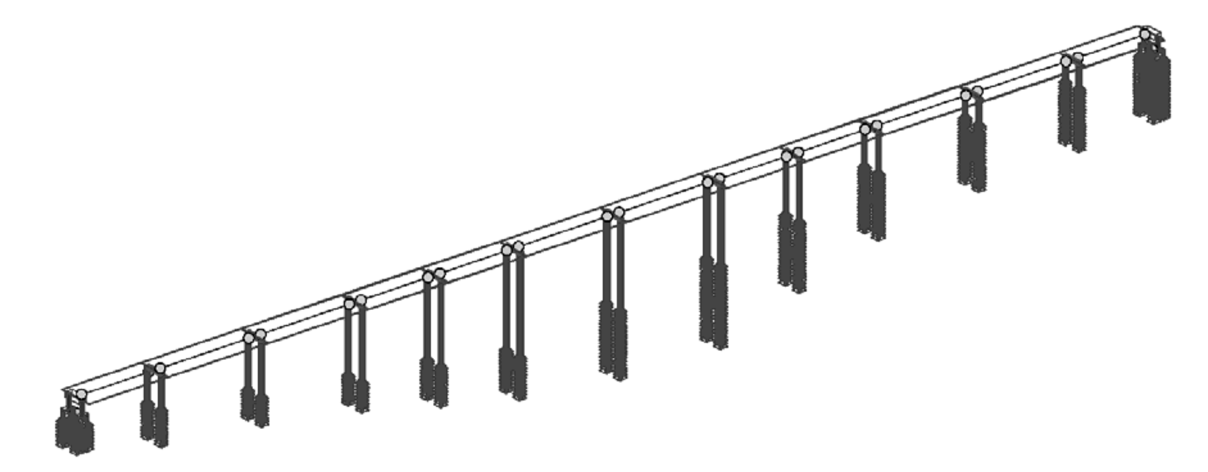
Por otra parte, se lleva a cabo un modelo tridimensional de características similares al anterior para el análisis de la infraestructura durante la fase de lanzamiento del tablero. En el mismo, se considera que la erosión máxima prevista aún no ha sucedido. En el estrato erosionable se considera un balasto de 3000 kN/m^3, y una presión del agua por encima de este estrato. En este modelo se aplican las cargas verticales del tablero durante el lanzamiento, provenientes del modelo comentado anteriormente, y cargas horizontales originadas por la fricción en los apoyos deslizantes, considerada del orden del 10%.

Como hipótesis de cálculo, se asume que, durante el lanzamiento, las cargas de viento y de la corriente no superarán el 30% respecto de las de diseño; en caso de superarse este valor durante el proceso constructivo, se detendrá el lanzamiento.

Asimismo, para el análisis de segundo orden de las pilas, se lleva a cabo un modelo global de la estructura, con el que se obtiene la carga crítica ideal para cada columna. Siguiendo los lineamientos de la EHE-08, con esta carga crítica se calcula una excentricidad ficticia para representar los efectos de segundo orden. Una vez obtenida esta excentricidad ficticia, se procede a verificar las secciones de las pilas a flexo-compresión.

Este análisis se realiza tanto para la etapa definitiva como para la etapa constructiva, teniendo en cuenta el avance del tablero a medida que es lanzado.

Como resultado del análisis de las dos situaciones de las pilas (estado de servicio y constructivo), se observa que la fase del lanzamiento del tablero resulta condicionante para el diseño de las columnas.



Forma de pandeo para: L106_S2_L206, Amplificación: 500,0, Lambda=16,3080954

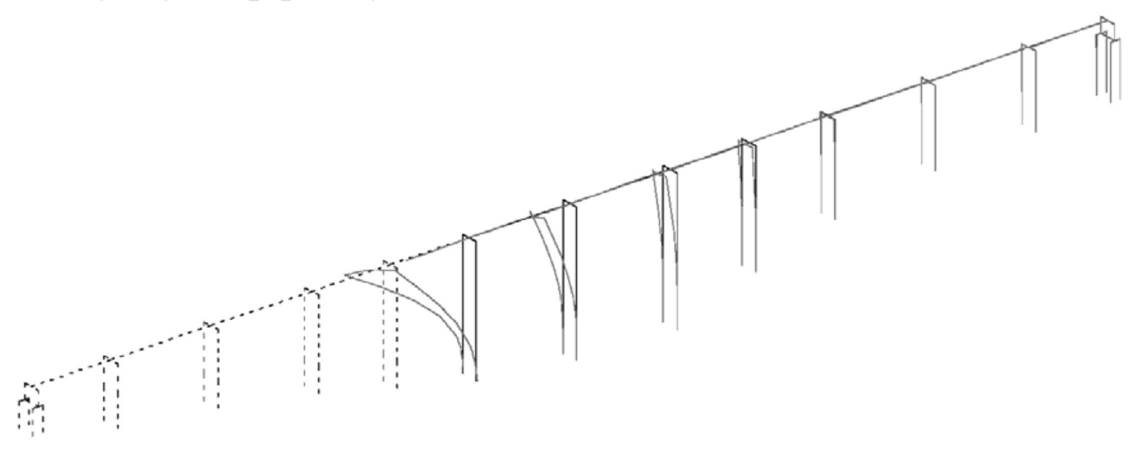


Figura 16. Modelo utilizado para el análisis de segundo orden de pilas (etapa constructiva)

Para el análisis del estribo E1, se lleva a cabo un modelo tridimensional de su estructura y se estudian dos situaciones. Para el estado de servicio del puente, se consideran las cargas provenientes del tablero y las cargas horizontales obtenidas del modelo global de la infraestructura. Para el análisis del estribo durante el lanzamiento del tablero, se considera la carga gravitatoria del tablero apoyado en el estribo una carga horizontal, correspondiente a la última fase del lanzamiento.

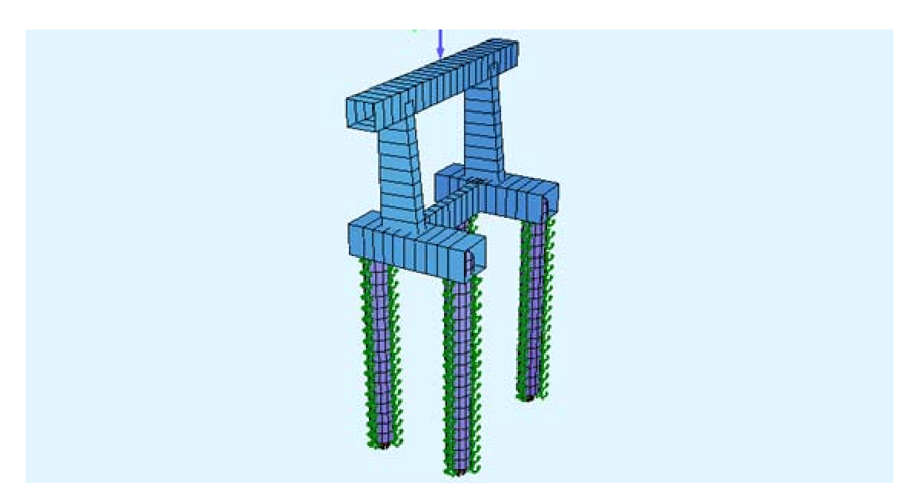


Figura 17. Modelación Estribo E1

Para el análisis del estribo E2 se realiza un modelo tridimensional de su estructura, y, al igual que en el otro estribo, se estudian dos situaciones.

Por un lado, para el estado de servicio del puente, se consideran las cargas provenientes del tablero y las cargas horizontales obtenidas del modelo global de la infraestructura.

Por otro lado, para el análisis del estribo durante el lanzamiento del tablero se considera la carga gravitatoria del tablero apoyado en el estribo y la máxima carga horizontal, correspondiente a la última fase del lanzamiento, en la cual los gatos hidráulicos ubicados en el estribo deben movilizar la longitud total del tablero mixto. En esta etapa se considera que el lanzamiento del tablero se dará contra el terreno, movilizando el empuje pasivo del mismo, para el cual se adopta un coeficiente de empuje pasivo de 1.00 (valor conservador).

En la Tabla 3 se muestra un resumen de las cargas actuando sobre el estribo 2, producidas por el lanzamiento del tablero.

Peso Tablero	82,40	kN/m
Longitud	375,00	m
Carga Total	30900	kN
Coeficiente de Rozamiento	0,1	
Carga horizontal total	3090	kN
Carga horizontal por gato	1545	kN
Carga vertical por apoyo	440	kN

Tabla 3. Cargas sobre el estribo E2 producidas por el lanzamiento del tablero

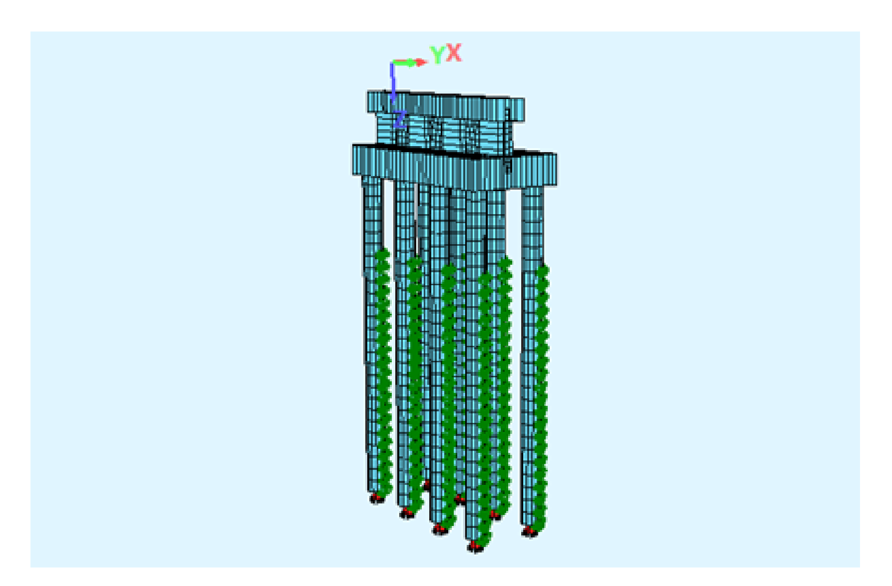


Figura 18. Modelación Estribo E2

CONCLUSION

Se llevó a cabo un diseño apto para salvar los 375 metros del Rio Negro, mediante un sistema constructivo, lanzando el tablero ya construido, que permite minimizar el trabajo de ejecución sobre el agua.

La utilización de una estructura mixta permite disponer de elementos de menor peso respecto de las estructuras de hormigón, con iguales o superiores prestaciones a efectos del funcionamiento tanto en la construcción como en servicio.

El método constructivo, como suele ocurrir en este tipo de puentes, resulta un condicionante crítico en el diseño de los elementos estructurales.

COLABORADORES

- TECHINT URUGUAY. Ing. Foglia, Alejandro; Ing. Irisarri, Alberto.
- Departamento Técnico MAMMOET Argentina.